

KAITAN SISTEM TRANSMISI DAN SISTEM DISTRIBUSI DALAM PERENCANAAN GARDU INDUK

Oleh :

Darjono

Falkutas Teknik, Jurusan Teknik Elektro.

Abstract

Interaction between transmission and distribution system for substation planning more importance. Besides the subject of size of substation, it's has covered the voltage level applied for the different networks functions and will be followed by architecture of transmission and distribution networks. The size and number of transformer used in the substation are more or less related to these aspects, although technical limitations and economics evaluations. This influence of the load density or peak load also explains the different between urban and rural area. New technologies make it possible to put HV Substation simple and inside building such Gas Insulated Substation (GIS). Modern protection shemes allow a more complex operation to maximise security, reability and continue of supply.

Key words : Substation planning, economics, reability supply.

A. PENDAHULUAN

Perencanaan dalam sistem tenaga listrik seluruh aktivitasnya dilakukan oleh tim kerja yang satu sama lain saling interaksi sesuai dengan pengembangan yang diperlukan. Program pembangunan gardu induk yang didahului dengan perencanaan gardu induk, dilakukan oleh tim kerja dalam

grup pada interaksi antara perencanaan sistem transmisi dengan sistem distribusi. Studi ukuran gardu induk termasuk lingkup aplikasi tingkat tegangan yang berbeda pada fungsi jaringan, dan akan diikuti penataan jaringan transmisi dan jaringan distribusi.

Kapasitas gardu induk didefinisikan sebagai jumlah dan kapasitas transformator yang dipasang dan dioperasikan di gardu induk, sedang kerapatan gardu induk dan kapasitasnya juga dikaitkan dengan kapasitas transformator yang memikul beban pada jaringan wilayah tersebut. Gardu induk dalam studi sebagai lokasi terletak pada kebebasan pasti transformasi tegangan dari tingkat tegangan yang satu dengan lainnya.

Transformator yang terpasang di gardu induk ukurannya akan mengikuti perkembangan pertumbuhan beban. Solusi yang optimal pada kerapatan dan ukuran gardu induk adalah kompleks, sebab perbedaan batasan dalam pendekatan teoritis tidak menghasilkan jawaban yang jelas dan pasti.

Ukuran gardu induk penuh dengan pertimbangan yang diharapkan menghasilkan ekonomis yang optimal. Pemilihan perencanaan keadaan khusus atau menguntungkan dapat dilakukan dengan strategi perencanaan yang berbeda.

Kerapatan dan ukuran gardu induk dipengaruhi oleh perencanaan dan kriteria disain jaringan dan tambahan komponen oleh beberapa aspek ekonomi – teknik termasuk kerapatan beban dan yang lebih berpengaruh adalah tersedianya tanah, terutama membangun gardu induk di kota yang padat, termasuk terbukanya ruang bebas untuk jalur transmisi.

Begitu pula ukuran dan jumlah transformator yang digunakan dalam gardu induk lebih atau kurang pengaruhnya, meskipun ada batasan teknik diantaranya berat transformator dan ukuran MVA maupun fisik transformator atau tingkat daya hubung singkat dapat masuk ke tingkat tegangan rendah, dalam situasi praktis adalah penting.

Pembebasan tanah untuk gardu induk berkaitan erat dengan jalur masuk jaring transmisi dari sumber pembangkit atau gardu induk yang telah

operasi, karena berkaitan dengan kendala- kendala pembebasan tanah tower dan ruang bebas transmisi.

B. METODE PENELITIAN.

a. Pengumpulan data informasi.

Perencanaan ukuran atau kapasitas gardu induk, didahului dengan pengumpulan data *existing* (telah dioperasikan) yang tercantum dalam statistik atau dokumen perencanaan , yang digunakan untuk pengkajian pengembangan gardu induk.

Sumbēr informasi dan data yang digunakan adalah sumber data sekendair yang terdiri dari :

- 1) Data Statistik tahunan PT PLN (Persero) termasuk anak perusahaannya.
- 2) Majalah
- 3) Jurnal yang terkait.

b. Metode analisis

Analisis dalam pembahasan perencanaan gardu induk menggunakan pendekatan teknis dan pendekatan ekonomis. Pendekatan teknis dilakukan guna mencapai hasil sesuai yang diharapkan yaitu suatu kemampuan teknis dan keandalan gardu induk yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dapat menyalurkan energi listrik sampai konsumen dengan andal dan kontinyu.

Pendekatan ekonomis dilakukan guna mencapai investasi gardu induk lengkap dengan peralatan sistem kelistrikan dalam gardu induk termasuk ukuran kapasitas transformator menjadi ekonomis, yang diikuti dengan biaya operasi yang efisien, tetapi penyaluran sistem tenaga listrik tetap terpenuhi dalam persyaratan teknisnya.

C. PEMBAHASAN.

a. Proses perencanaan gardu induk

Proses perencanaan dan disain adalah proses perencanaan interaktif terus menerus dari beberapa bagian keputusan selama waktu jaringan tersebut operasi.. Proses ini diulang beberapa kali dalam pengembangan jaringan, termasuk ramalan beban, analisis sistem dan diagnose operasi.

Phase pertama pertumbuhan beban dan kerapatan beban menjadi faktor yang dominan dalam pengembangan jaringan. Selanjutnya keandalan dan kualitas pasokan menjadi sangat penting, sebab siklus alami proses perencanaan, kerapatan dan ukuran gardu induk akan dipengaruhi oleh perbedaan perubahan teknologi dan pemilihan praktis yang dibuat waktu lampau.

Pemilihan arsitektur jaringan adalah dasar proses perencanaan dan optimasi kerapatan dan ukuran gardu induk. Arsitektur jaringan dilakukan studi interval regular. Studi dapat dimulai pada model teoritis dari masukan penelitian dengan pengambilan informasi yang bernilai pada perencanaan gardu induk dan meminimalkan biaya, tetapi secara praktis meliputi variasi lokal, kerapatan beban, kadang-kadang konfigurasi historis *feeder* pada peta topografi serta tersedianya lokasi untuk keperluan utilitas, minimal dalam menunjang kenaikan jumlah total instalasi. Standard konfigurasi jaringan, fasilitas pengendali, ukuran komponen dan konfigurasi gardu induk , dapat mencakup untuk kebutuhan pengembangan gardu induk dimasa yang akan datang.

b. Aspek Disain.

Perencanaan jaringan dan kreteria disain komponen mengikuti kondisi kerapatan dan ukuran gardu induk. Aspek yang penting mengikuti ketentuan diantaranya, jumlah tingkat tegangan yang

digunakan pada sistem, nilai tingkat tegangan yang terpasang, arsitektur gardu induk yang menyatu dan standard keandalan.

Pada waktu tingkat tegangan yang digunakan lebih dari satu, maka untuk memasukan pergantian tingkat tegangan antara tegangan tinggi dengan tegangan menengah, dan kerapatan gardu induk yang ditunjukkan dari tingkat tinggi ke tingkat rendah serta pada pengaruh sisi yang lain jaringan tegangan menengah dengan ukurannya yang bertambah besar atau kecil.

Pergantian tingkat tegangan akan dihubungkan ke gardu distribusi kecil dan jaringan yang lebih aman serta keandalan pasokan yang lebih besar. Tegangan primair yang lebih tinggi, akan diikuti dengan ukuran gardu induk yang lebih besar. Masalah utama yang berhubungan dengan biaya peralatan tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi; misalnya biaya transformator per MW untuk ukuran kecil dan tingkat tegangan primair tinggi, biaya akan menjadi lebih tinggi.

Sisi tegangan rendah (sekender) misal tegangan menengah umumnya mempunyai ukuran kecil disebabkan sejumlah besar *feeder* keluar untuk pendistribusian daya yang sama dan peralatan tegangan menengah gardu induk dapat menjadi lebih mahal, karena menyalurkan arus lebih tinggi untuk daya yang sama.

Saat menggunakan skema gardu induk yang simpel misalnya transformator tunggal yang disambungkan langsung ke jaringan tegangan tinggi (pada umumnya gardu induk lebih kompleks mempunyai busbar ganda dan fasilitas hubungan otomatis), bahwa ukuran rata-rata gardu induk akan dipengaruhi oleh kerapatan gardu induk yang tinggi dengan rata-rata ukuran kecil.

Jika dimungkinkan tidak ada beban yang disalurkan diantara titik pengisian dari pembangkit yang dibutuhkan oleh tiap gardu induk, pada waktu tidak ada hubungan dengan salah satu dari

seluruh struktur titik pengisian Ketentuan standard untuk keandalan, kelebihan dan kekurangan pada salah satu transformator yang diminta pada gardu induk. Sebaliknya jika penyaluran daya dimungkinkan antar gardu induk, jumlah transformator dapat lebih rendah dan selanjutnya ukuran transformator dapat dipilih lebih tinggi serta tingkat pembebanan lebih baik.

Gardu induk yang operasinya dijalankan dengan pemutus, penyaluran beban yang tercakup dengan pasokan pasti akan terputus pada periode tingkat kualitas yang sama, tidak dapat dijangkau. Periode pemadaman yang panjang, lebih banyak dibutuhkan tindakan penggantian pemutus.

Sejumlah *feeder* yang pendek dibangun lebih banyak dengan gardu induk kapasitas kecil pada jarak yang pendek satu sama lainnya. Penekanan keandalan pasokan yang disebabkan gangguan pada jaringan lebih diutamakan dari pada kegagalan gardu induk dengan konsekuensi lebih kecil.

c. Aspek Ekonomi Teknik.

Pelaksanaan evaluasi teknik dan ekonomis yang berkaitan aspek kerapatan dan ukuran gardu induk dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut; kerapatan beban (MW per Km^2), pertumbuhan beban, kapasitas transformator, maksimum gangguan dan fleksibilitas.

Kerapatan beban yang tinggi umumnya lebih banyak disambung pada gardu induk besar; dan berhubungan dengan biaya yang didistribusikan (Rp / MVA), kerugian daya lebih kecil dalam daerah padat dari pada daerah kerapatan rendah.

Biaya berbanding terbalik proposional dengan kerapatan beban dalam per Km^2 . Keseimbangan dapat dilihat antara biaya distribusi dan biaya gardu induk. Secara fakta menunjukkan bahwa

kerapatan beban tingkat tegangan (misal antara tegangan tinggi dan tegangan menengah) mungkin dapat belakangan, sedang gardu induk dapat dimasukan dengan rapat beban tinggi, dengan dua parameter gardu induk besar yaitu tegangan tinggi primair dan rapat beban sendiri, bersama hal lainnya untuk perencanaan kedepan.

Asumsi pertumbuhan beban selama usia peralatan gardu induk adalah faktor pemilihan ukuran gardu induk dan ukuran transformator. Waktu dimulai dengan beban kecil, akan menjadi kerugian apabila dipasang dengan transformator ukuran besar sebab pengguna jasa kelistrikan masih rendah, biaya khusus (per MW yang disalurkan) menjadi rendah dengan faktor pemakaian yang tinggi. Tetapi disisi lain dengan transformator ukuran kecil akan menjadi tidak ekonomis setelah beban naik beberapa waktu kemudian. Selanjutnya untuk pertumbuhan beban yang tinggi, cocok dengan transformator ukuran besar.

Tingkat hubung singkat yang dicapai maksimum untuk gangguan tiga fasa dan satu fasa, dalam gardu induk yang tua dan sistem distribusi yang tua, dapat terbatas untuk pengembangan gardu induk lama menjadi salah satu yang besar. Beberapa gardu induk (salah satunya kecil) dapat memberikan fleksibilitas dari pada sebagian kecil gardu induk yang besar dalam perencanaan maupun operasi jaringan.

d Aspek lingkungan

Ukuran gardu induk dan jumlah transformator diputuskan tidak hanya berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis saja, tetapi juga dipengaruhi oleh ruangan dan terbatasnya transportasi serta juga pengaruh lingkungan lainnya, seperti pemasangan kabel tanah (*feeder* keluar) serta saluran keluar masuk gardu induk. Perencanaan gardu induk ini menjadi lebih sulit dengan saluran

keluar masuk gardu induk dengan hantaran diatas tanah, Akibatnya bagi tegangan tinggi yang melewati daerah pemukiman padat/ populasi tinggi sangat sulit dan biaya sangat mahal. Oleh sebab itu memberikan motivasi untuk merencanakan gardu induk besar. Gardu induk dapat lebih menyenangkan bila dimungkinkan untuk mengembangkan kembali ruang bebas guna membangun jaringan baru dengan kapasitas lebih tinggi yang disambungkan ke gardu induk tersebut. Hal seperti ini banyak dilakukan di kota besar yang padat penduduknya seperti di Daerah Khusus Ibukota Jakarta salah satu contohnya peningkatan kapasitas jaringan transmisi dan gardu induk dari GI Gambir ke GI Pulogadung.

Salah satu problem adalah untuk mendapatkan tanah yang cocok untuk gardu induk yang baru (penggunaan tanah, getaran dan perizinan) sering menjadi suatu pilihan dengan mengembangkan gardu induk yang sudah ada atau peningkatan kapasitas gardu induk (peningkatan tegangan kerja sebelumnya), seperti di DKI peningkatan tegangan transmisi sistem 70 KV ke sistem 150 KV., kemampuan gardu induk menjadi lebih besar. Pada sisi yang lain problem teknis (tingkat gangguan, beberapa *feeder* keluar) termasuk batasan yang berhubungan dengan jumlah dan ukuran transformator (spasi transformator, pengangkutan) dan juga dibatasi sesuai kondisi gardu induk lama yang terhubung dengan gardu induk lain. '

Tehnologi baru, dengan lingkungan yang sesuai, tanpa resiko kebakaran, seperti pemutus SF 6 , transformator yang ringkas/simpel serta lengkap, dan dimungkinkan gardu induk dapat direalisasi di tengah kota dalam bangunan dan transmisi dengan kabel tanah. Kesulitan penibebasan tanah untuk gardu induk terutama di kota. langkah solusi yang diambil dengan dibangun gardu *Gas Insulated Switchgear* (GIS), model ini untuk di Jawa

Tengah telah dibangun yaitu GI Simpang Lima dan GI Pudakpayung di Semarang serta GI Mangkunegaran di Surakarta termasuk dikota besar lainnya di Indonesia.

D. PENGEMBANGAN GARDU INDUK.

a. Geografies Gardu Didistribusi.

Penyesuaian problem gardu induk adalah untuk memperluas ruang/area dengan luas yang sama, jarak rata-rata adalah akar dari luas total permukaan wilayah dibagi dengan jumlah gardu induk pada fungsi yang sama.

$$\text{Jarak} = \sqrt{(\text{Luas permukaan} / \text{jumlah GI})}$$

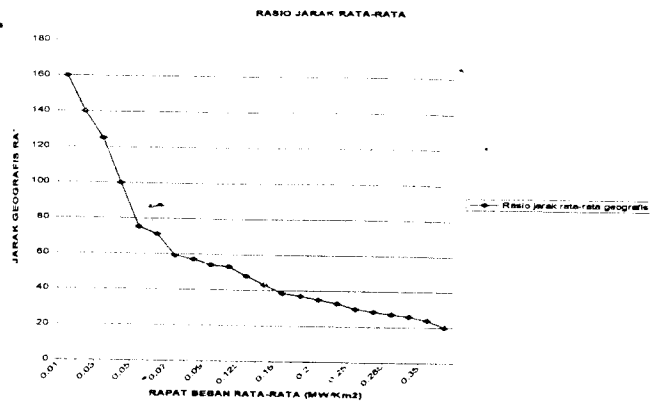
Jarak rata-rata dibandingkan dengan kerapatan beban dalam suatu wilayah. Rata-rata kerapatan beban didifinisikan sebagai beban puncak dibagi dengan luas wilayah yang mencakup dengan pasokan jaringan tetapi nilainya juga diatur dengan tidak adanya penambahan populasi.

Gardu induk yang berada di wilayah kota padat, kerapatan beban dapat lebih tinggi (10 sampai 100 kali lebih besar). Umumnya - penetapan gardu induk sangat terikat dengan pengambilan beban pada suatu wilayah (hanya berlaku untuk pusat kota atau pinggiran kota). Grafik menunjukan adanya hubungan antara gardu induk dengan kerapaian beban dan jarak geografis pada wilayah yang berbeda seperi terlihat pada gambar 1.

b. Jaringan digambarkan melalui titik yang berbeda.

Dari grafik dapat diperoleh gambaran bahwa untuk rapat beban rata-rata tinggi mempunyai jarak jaringan transmisi rata-rata 10 Km dan untuk wilayah padat jaringan transmisi sekitar 25 sampai

dengan 50 Km, sedang dalam wilayah yang kurang padat jarak transmisi sampai 100 Km, begitu pula pada wilayah yang rapat bebannya sangat rendah. menunjukan jarak geografisnya dapat sangat panjang.



Gambar 1 : Jarak geografis rata-rata antara gardu induk dengan jaringan transmisi dibandingkan dengan rapat beban rata-rata.

c. Jumlah transformator dalam gardu induk.

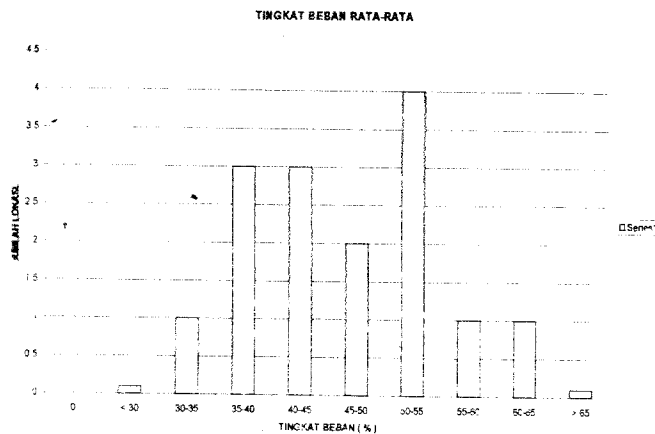
Gardu induk pada umumnya terpasang satu transformator, dua transformator, tiga transformator dan sebagainya. Transformator cocok dioperasikan parallel dan harus mempunyai tegangan pada sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah pada nilai yang sama. Semua gardu induk pada seluruh tingkat tegangan betul-betul dipertimbangkan, kecuali pada tegangan menengah atau tegangan rendah termasuk diluar gardu induk yang dihubungkan dengan pembangkit.

Seperti yang telah dihasilkan oleh tim ahli dalam penelitian sebelumnya, bahwa semua tingkat tegangan dengan pasti bagi setiap wilayah berbeda antara tingkat tegangan tinggi dan situasi tegangan menengah, seperti di tiga wilayah Jawa Barat, Jawa Tengah dan

Jawa Timur untuk sisi tegangan tinggi dengan sistem pentanahan yang berbeda, yaitu titik netral disambung dengan tahanan tinggi, tahanan langsung (*solid grounded*) dan tahanan rendah. Tetapi akhirnya kenyataan bahwa setiap gardu induk akan terpasang dua transformator, dan juga ada yang terpasang lebih dari dua transformator. Pemasangan satu transformator dapat sering terjadi pada jaringan yang direncanakan dalam sistem rangkaian tertutup (*mesh*) dan kelebihan bebannya disebarkan ke gardu induk lainnya, pelaksanaan hal ini biasanya dilakukan melalui sistem tegangan menengah.

Gardu induk dapat dipasok pengisian lebih dari satu tingkat sistem tegangan transmisi, dan juga banyak transformator dioperasikan tetapi pasokan tidak datang dari gardu induk yang sama. Bagaimanapun juga dalam keadaan normal dioperasikan terpisah dan secara otomatis dapat dipindahkan jika diperlukan.

d. Tingkat beban gardu induk.



Gambar 2 : Tingkat beban puncak dalam % dari kapasitas terpasang di induk dari beberapa lokasi

Faktor yang dapat ditentukan setiap gardu induk adalah “tingkat pembebanan” pada dasar perbandingan kapasitas total terpasang (jumlah dari nominal individu transformator) dan maksimum beban gardu induk.

Faktor yang mempengaruhi adalah harapan pertumbuhan beban, jumlah transformator, struktur jaringan dan khususnya kriteria keandalan yang diambil dalam perhitungan perencanaan.

Gambar 2 memperlihatkan tingkat beban rata-rata setiap lokasi gardu induk dari sistem jaringan transmisi yang berbeda wilayah . Setiap wilayah juga dapat diindikasikan tingkat rentang beban yang pasti.

Hal yang diperhatikan dalam grafik tingkat pertimbangan pada variasi beban, yang terutama akibat konsep disain sistem dan kriteria penilaian ekonomis.

e. Pemilihan ukuran transformator.

Ukuran transformator tidak distandardisasi, meskipun ukuran transformator ini dapat dipertimbangkan pada tingkat perencanaan. Lebarnya variasi nilai transformator yang dapat dipilih dalam penentuan ukurannya. Selanjutnya pertanyaan yang diminta untuk pemilihan transformator yang masuk dalam operasi suatu saat. Tabel dibawah ini dapat memberikan gambaran jenis dan ukuran transformator yang terpasang.

Sesuai dengan fungsi jaringan yang berbeda bahwa gambaran yang diberikan untuk tahapan transformasi dari jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi ke jaringan transmisi tegangan tinggi, dari jaringan transmisi tegangan tinggi ke jaringan transmisi tegangan tinggi dan dari jaringan transmisi tegangan tinggi ke jaringan distribusi tegangan menengah.

Nilai tingkat tegangan yang ditetapkan sesuai dengan terminologi yang digunakan dalam wilayah atau negara berbeda. (biasanya sistem tegangan nominal atau tegangan maksimum sesuai dengan standard IEC). Harga transformator memberikan nilai yang kontinyu. Transformator dapat berbeban lebih yang ditentukan oleh temperatur minyak, besar beban maksimum yang diizinkan. Harga emergensi/ darurat atau harga perputaran tidak diindikasikan, tetapi sangat penting dalam operasi sistem.

E. SIMPULAN

Normalnya dalam suatu wilayah kota dengan kerapatan beban yang tinggi, akan mempunyai gardu induk dengan ukuran lebih tinggi dari pada di wilayah pedesaan.

Fakta telah menunjukan bahwa biaya distribusi daya umumnya rendah pada wilayah yang rapat bebannya tinggi. Akan tetapi tingkat tegangan yang berganti dapat mempengaruhi pertimbangan ukuran gardu induk. Seperti yang diketahui tingkat tegangan yang lebih tinggi (misal tegangan tinggi) ukuran akan lebih besar sebab rapat gardu induk pada tingkat tegangan tersebut akan menurun. Pada tingkat tegangan rendah (misal tegangan menengah) dengan adanya tingkat tegangan yang ukurannya rendah, tetapi rapat gardu induk tinggi.

Tabel

Pemilihan Nominal Transformator dalam Bagian Jaringan yang berbeda.

Negara	Dari Transmisi ke Su. Transmisi (KV / KV)	Nominal Transformator (MVA)	Sub Transmisi ke Distribusi (KV / KV)	Nominal Transformator (MVA)	Sub Transmisi ke Sub Transmisi (KV / KV)	Nominal Transformator (MVA)	Dari Transmisi ke Distribusi (KV / KV)	Nominal Transformator (MVA)
Perancis	400 / 225 400 / 63 - 90	300 - 600 150 - 240	225 / MV 63 - 90 / MV	40 - 100 20 - 36	225 / 63 - 150 -	70 - 170 -	- -	- -
Inggris	400 / 132 275 / 66 - 132	240 180 - 240	66-132 / MV	18 - 90	132 / 66	60	275 / MV	120
Jerman	220-380 / 110	200 - 350	25*)-60-110/MV	20 - 63	110 / 25*) - 60	40 - 60	-	-
Norwaigia	300-420 / 45-132	60 - 360	45 - 132 / MV	11 - 60	66-132 / 45 -66	40 - 100	300 / MV	50 - 100
Swedia	400 / 130 220 / 70 - 130	500 - 750 60 - 200	110 / MV 40 - 70 / MV	75 10 - 40	130 / 40	40 - 63	220 / MV	40
Finlandia	400 / 110 220 / 110	400 120 - 250	110 / MV	10 - 40	110 / 45	10 - 40	-	-
Belanda	380 / 150 220 / 110	450 200 - 350	110 - 150 / MV 50 / MV	20 - 80 15 - 30	150 / 50	100	220 / MV	80
Belgia	380 / 70 225 / 70 150 / 70 150 / 36	220 80 - 160 145 125	70 / MV 36 / MV	40 - 50 19 - 30	-	-	220 / MV 150 / MV	20 - 40 * 50
Slovenia	400 / 110 220 / 110	300 150	110 / MV	8 - 40	-	-	-	-
Italia	380 / 132 - 150 220 / 60 - 150	250 100 - 160	50 - 150 / MV	25 - 63	132 - 150 / 50-60	60	220 / MV	63
Amerika Utara	345-765/60-230	100 - 600	60 - 230 / MV	30 - 150	230 - 115 /60-115	50 - 300	-	-
Australia	330 / 66 - 132 275 / 66 - 132 220 / 66 - 132	100 - 600 80 - 300 70 - 240	66 - 132 / MV	5 - 150	110-132 / 66-132	5 - 150	-	-
Afrika Selatan	275-400 / 88-132 220 / 66-132	80 - 500 40 - 500	33 - 132 / MV	2,5 - 40	33 - 132 / 33 - 88	20 - 315	-	-
Yordania	230 / 132	100	132 / MV	10 - 63	-	-	-	-
Korea Selatan	345 / 154	500	154 / MV 66 / MV	30 - 60 12 - 20	154 / 66	30 - 80	-	-
India	400 / 132 400 / 110 220 / 132 220 / 110	400 400 200 200	132 / MV 110 / MV 66 / MV	20 - 120 20 - 60 15 - 30	132 / 66 110 / 66	100 100		
Indonesia	500 / 150	500	150 / MV 70 / MV	16 - 60 10 - 30	150 / 70	30 - 60		

Nilai tingkat tegangan transmisi wilayah kota dapat diseleksi agar jaring transmisi tersebut menguntungkan untuk dikembangkan dengan beberapa tingkat tegangan. Wilayah pedesaan yang rapat bebannya rendah kurang menjadi pilihan. Gardu induk juga lebih menguntungkan bila gardu induk berada diantara wilayah kota dan pedesaan dengan struktur, ukuran dan rapat beban yang signifikan.

Ukuran dan rapat gardu induk terutama ditentukan oleh analisis teknis –ekonomis. Isu yang signifikan dibutuhkan oleh perusahaan adalah kapasitas gardu induk sendiri dan standard keandalan yang diberlakukan. Secara historis transformator darurat diperlukan dan akan kontinyu digunakan sebagai kapasitas cadangan untuk mengambil kurva beban aktual. Tingkat beban maksimum secara teoritis terutama ditentukan oleh pemilihan struktur jaringan dan kriteria cadangan yang diminta. Akibat terbatasnya penyediaan tanah lokasi dan aspek lingkungan lokal lainnya, gardu induk dapat dimungkinkan penyelesaian pada aspek teknis-ekonomis sampai optimal. Tidak akan mengurangi ketentuan sebelumnya, dan dengan melihat konsekuensi biaya yang diketahui dimungkinkan dapat mencapai kondisi optimum.

Pada umumnya sejumlah $n-1$ kriteria disain didominasi proses optimasi disain sistem jaringan transmisi. Hasil perencanaan gardu induk mayoritas hanya menentukan satu atau dua transformator, jika beban yang disalurkan yang kemungkinan antara titik pengisian satu transformator di gardu induk telah mencukupi.

Menurut pandangan ekonomis ukuran transformator dapat dilihat pada tingkat tegangan yang sama, dan mempunyai rasio 1,5 s/d 2. Rata-rata pada situasi praktis ukuran baru akan mempertimbangkan masa yang akan datang, jika beban gardu induk akan naik yang disebabkan oleh beberapa faktor. Meletakkan transformator pada posisi setengah jalan melalui masa usia operasi, ini kadang-kadang merupakan bagian dari filosofi jaringan, kriteria keandalan dan kualitas jaringan serta

kebijakan reduksi kerugian yang mempengaruhi waktu penggantian transformator.

Rapat beban adalah sangat penting menentukan ukuran gardu induk. Gardu induk yang sangat besar dapat menarik pandangannya jika rapat beban tinggi dan kenaikan permintaan beban jangka panjang sangat dimungkinkan. Sebaliknya ukuran kecil lebih baik, parameter perubahan dan lingkaran luar sekelilingnya dapat ditangani lebih fleksibel dengan konsekuensi yang lebih kecil.

Pengaruh rapat beban juga menjelaskan perbedaan utama antara wilayah kota dan wilayah pedesaan sebagai perhatian yang lebih awal. Dengan adanya teknologi baru membuat beberapa kemungkinan untuk menempatkan gardu induk tegangan tinggi didalam bangunan atau bangunan dibawah tanah. Seperti gardu induk tertutup di pusat kota secara fisik kecil dan disain sering sangat simpel. Skema proteksi modern juga menjadi lebih komplek operasinya guna memaksimalkan keselamatan pasokan tenaga listrik sampai pada konsumen.

REFERENSI

- Bucci, R.M & Palmer, R.E : 1993, " *Planning Electric Distribution Systems for Developing Nation*" Electric Power International.
- Faulkenberry, L.M ; 1996 , " *Electrical Power Distribution and Transmission*" A. Simon & Schuster Company, Engelwood Clift, New Jersey
- Fink, D.G: Beaty, H.W.; 2001, " *Standard Handbook for Electrical Engineers*" 14th Edition, McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Glamocanin, V & Filipovic, V: 1993, " *Open Loop Distribution System Design*" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.8, No. 4.
- Gupta, M.L & Prahlad, C.D; 1994, " *Design and cnstruction features of 400 KV gas insulated switchgear (GIS)*" . Indian Journal of Power & River valley development.

Laughton, M.A. 1982; "*Power and Energy System Planning*" Electrical Power and Energy System.

Perusahaan Umum Listrik Negara, 1985; "*Java Transmission & Substation Project Proposal*" Jakarta.

Rao, S ; 2002, "*Electrical Substation*" Khanna Publishers, New Delhi India